А. Г. Дольник, М. М. Эфрусси

МИКРО-ФОНЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

Основные электрические и конструктивные данные микрофонов отечественного производства

Тип микрофона	Номинальный диапазон частот, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Номинальное сопротивление нагрузки, *ом*	Стандартный уровень осевой чувствительности, *дб*	Чувствительность на частоте 1 000 *гц* при номинальной активной нагрузке, $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$	Средняя разность чувствительности между фронтом и тылом, *дб*	Вид преобразования	Вид характеристики направленности	Габариты, *мм*	Вес (с подставкой или штативом), *г*
Микрофоны для профессиональных систем радиовещания, телевидения, звукозаписи и звукоусиления										
МД-44	100—8 000	12	250	—78	0,63	10	Д	ОН	∅ 33×50	200
МД-45	50—15 000	12	250	—78	0,63	12	Д	ОН	∅ 37×115	300
МД-46	100—5 000	25	250	—72	1,25	12	Д	ОН	∅ 50×65	1 400
МД-47	100—10 000	20	500 000	—	15	—	Д	НН	94×71×32	260
МД-49	100—8 000	10	250	—78	—	—	Д	ОН	—	—
МД-53[1]	50—15 000	9	250	—75	0,9	15	Д	НН, ОН, ДН	—	—
МД-54	140—10 000	12	250	—78	—	—	Д	ОН	—	—
МД-55	60—8 000	12	250	—72	1,25	—	Д	НН	∅ 60×80	1 650
МД-57	50—13 000	10	250	—78	0,63	—	Д	НН	∅ 42×75	850
МД-59	50—15 000	8	250	—78	0,63	—	Д	НН	∅ 34×120	600
МД-61	100—10 000	12	250	—88	0,2	8	Д	ОН	∅ 20×75	50[2]
МД-62	100—10 000	12	250	—88	0,2	—	Д	НН	∅ 20×75	50[2]
МД-63А	120—15 000	10	250	—74	1,0	—	Д	—	—	—
МД-64	100—10 000	12	250, 3 000—5 000, 500 000	—74	1,2	12	Д	ОН	∅ 35×62	—
МД-65	120—10 000	15	250	—77	0,7	12	Д	ОН	—	—
МД-65А	120—10 000	15	250	—75	0,9	8	Д	ОН	—	—
МД-66	100—14 000	12	250	—68	2,1	14	Д	ОН	—	—
МД-69	50—15 000	8	250	—73	1,1	14	Д	ОН	—	—

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

СПРАВОЧНАЯ СЕРИЯ

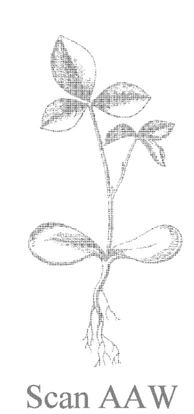
Выпуск 633

А. Г. ДОЛЬНИК и М. М. ЭФРУССИ

МИКРОФОНЫ

Издание 2-е, переработанное и дополненное





«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1967

УДК 621.395.61(033)

6Ф2.7
Д65

Дольник А. Г. и Эфрусси М. М.

Д65 Микрофоны. Изд. 2-е, переработ. и доп. М., «Энергия», 1967.

32 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Справочная серия. Вып. 633) 50 000 экз. 10 к.

Кратко описаны устройства и принцип работы различных микрофонов. Приводятся данные широко распространенных и вновь разработанных микрофонов. Излагаются основные правила эксплуатации микрофонов в профессиональных системах и даются рекомендации для любительского применения. Рассчитана на широкий круг радиолюбителей.

3-4-5
390-66

6Ф2.7

Дольник Анатолий Георгиевич
и Эфрусси Михаил Михайлович

Микрофоны

Редактор *Ф. И. Тарасов*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*
Корректор *З. Б. Шлайфер* Технический редактор *Т. Г. Усачева*

Сдано в набор 14/XI 1966 г. Подписано в печать 2/III 1967 г. Т-01801
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 1,68 Уч.-изд. л. 2,32
Тираж 50 000 экз. Цена 10 коп. Заказ 2702

Издательство „Энергия", Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

КЛАССИФИКАЦИЯ, ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОФОНОВ

Микрофон представляет собой электрический прибор, предназначенный для преобразования звуковых колебаний в электрические. По способу преобразования звука применяемые в настоящее время микрофоны подразделяются на следующие основные виды: 1) индукционные, которые в свою очередь можно разделить на динамические (катушечные) и ленточные; 2) конденсаторные (электростатические); 3) пьезоэлектрические; 4) электромагнитные; 5) угольные.

Микрофоны, как и любые другие технические приборы, характеризуются определенными параметрами, позволяющими судить об их качестве и пригодности для различных случаев применения. Основными параметрами микрофона являются: осевая чувствительность, номинальный диапазон частот и неравномерность частотной характеристики, внутреннее (выходное) сопротивление и сопротивление номинальной нагрузки. При эксплуатации микрофона следует учитывать характеристику его направленности, которая зависит в основном от типа микрофона и его конструктивных особенностей, и относительный уровень собственных шумов. Что же касается нелинейных искажений, то они у большинства микрофонов (кроме угольных) весьма малы, если, конечно, диапазон звуковых давлений не превышает обычно существующих, нормальных значений.

Чувствительность. Отношение величины напряжения, развиваемого микрофоном на активном сопротивлении, равном сопротивлению номинальной нагрузки микрофона, к величине звукового давления, воздействующего на диафрагму микрофона (в точке, где должен находиться центр его звуковоспринимающей поверхности), называется ч у в с т в и т е л ь н о с т ь ю микрофона и измеряется в милливольтах на ньютон на квадратный метр ($мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$) *.

Чувствительность микрофонов часто измеряют в режиме «холостого хода», когда сопротивление нагрузки во много раз превышает внутреннее сопротивление микрофона, а развиваемое напряжение почти равно э. д. с. Однако при этом нельзя сравнивать чувствительности микрофонов, имеющих различные внутренние сопротивления, поэтому за меру их чувствительности принимается стандартный уровень чувствительности микрофона (в децибелах), называемый также уровнем его передачи. Стандартный уровень чувствительности микрофона представляет собой уровень мощности N, отдаваемой микрофоном в номинальную нагрузку при эффективном звуковом

* В новой международной системе единиц СИ за единицу звукового давления принят ньютон на квадратный метр ($н/м^2$), численно равный 10 $дин/см^2$, или 10 *бар*.

давлении 0,1 *н* (1 *бар*), который измеряется относительно нулевого уровня электрической мощности $N_0 = 10^{-3}$ *вт* = 1 *мвт*. Стандартный уровень чувствительности (в децибелах) вычисляется по формуле

$$N = 10\lg \frac{(0,1E)^2 \cdot 10^{-6}}{Z_н \cdot 10^{-3}} = 20\lg E - 10\lg Z_н - 50,$$

где E — чувствительность микрофона, *мв* · $н^{-1}$ · $м^2$;

$Z_н$ — номинальное сопротивление нагрузки (равное его внутреннему сопротивлению), *ом*.

Для облегчения определения уровня передачи различных микрофонов на рис. 1 приведен график, построенный по приведенной формуле, для разных значений чувствительности микрофона и сопротивлений нагрузки.

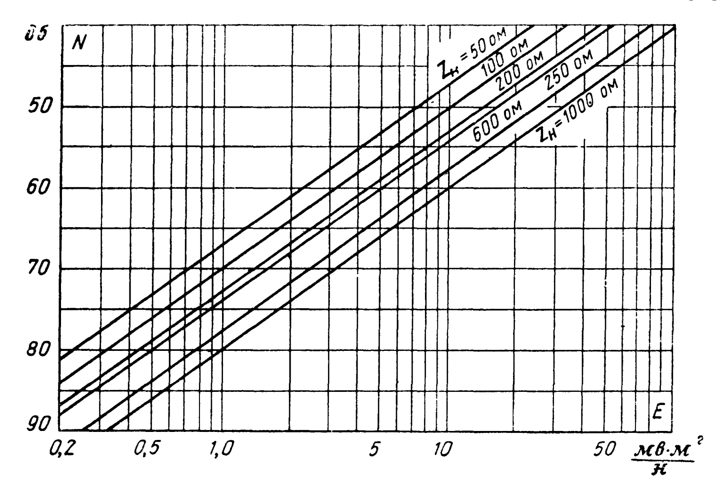


Рис. 1. График для определения стандартного уровня осевой чувствительности микрофонов (отсчет N со знаком «минус»).

Зная величину N, удобно сравнивать эффективность микрофонов с различными внутренними сопротивлениями. Следует иметь в виду, что если чувствительность микрофона E выражена в *мв/бар* (*мв/дин/см*²), то стандартный уровень чувствительности (в децибелах) должен вычисляться по формуле

$$N = 10\lg \frac{E^2 \cdot 10^{-6}}{Z_н \cdot 10^{-3}} = 20\lg E - 10\lg Z_н - 30.$$

Обычно определяется осевая чувствительность микрофона, как правило, всегда наибольшая. Она измеряется при падении синусоидальной звуковой волны по направлению акустической (рабочей) оси микрофона. В случае осевой симметрии конструкции микрофона ось симметрии совпадает с акустической осью. В других случаях акустической осью называют направление преимущественного использования микрофона в нормальных условиях эксплуатации, оговоренных в ГОСТ или ТУ на микрофон данного типа.

Частотная характеристика. Чувствительность микрофона (уровень передачи) в той или иной мере зависит от частоты. Графическое изображение этой зависимости в определенном (номинальном) диапазоне частот называется частотной характеристикой. Устанавливаемый ГОСТ или ТУ номинальный частотный диапазон, а также допуск на неравномерность частотной характеристики в этом диапазоне являются важнейшими качественными показателями.

Неравномерностью частотной характеристики называется выраженное в децибелах отношение максимального значения чувствительности к минимальному, находящееся в пределах номинального диапазона частот. Средняя чувствительность микрофона вычисляется как среднее арифметическое из значений осевой чувствительности

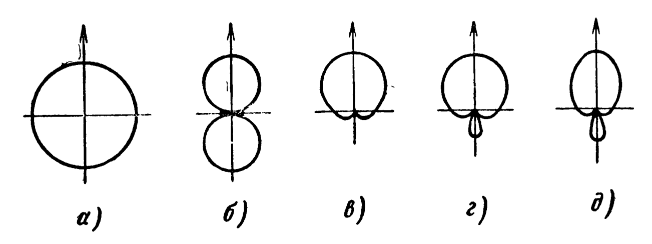


Рис. 2. Основные виды характеристик направленности микрофонов.

а — **круговая;** *б* — **восьмерка;** *в* — **кардиоида;** *г* — **суперкардиоида;** *д* — **гиперкардиоида.**

($мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$) на определенных частотах, которые располагаются внутри номинального (рабочего) диапазона, установленного ГОСТ или ТУ на испытуемый тип микрофона.

Сопротивление номинальной нагрузки. Сопротивление нагрузки, оговоренное в ГОСТ или ТУ на соответствующий тип микрофона, обеспечивающее его параметры, установленные там же, называется номинальным. Для максимальной отдачи (по мощности) номинальное сопротивление нагрузки должно равняться полному внутреннему сопротивлению микрофона.

Характеристика направленности. Зависимость чувствительности микрофона на данной частоте от угла между акустической осью и направлением на источник звука, изображенная на графике (обычно в полярных координатах), называется характеристикой направленности. Последняя зависит от устройства звукоприемной части микрофона. Если сила, возникающая в результате действия звукового поля, по конструктивным особенностям может воздействовать только на одну сторону подвижной системы (диафрагмы) микрофона, то такой микрофон будет приемником давления. Если же в микрофоне открыты для звуковых волн обе стороны подвижной системы, которая в этом случае реагирует на разность звуковых давлений, действующих по обе стороны диафрагмы, то такой микрофон будет приемником градиента давления или скорости.

Микрофон-приемник давления не обладает резко выраженной направленностью и имеет, особенно в области низших частот, круговую характеристику направленности (рис. 2,*а*). С повышением частоты она принимает вытянутую форму. Чем меньше размеры микрофона, тем при более высоких частотах начинает вытягиваться

его характеристика направленности, что объясняется явлением дифракции, т. е. способностью звуковых волн огибать корпус микрофона, когда их длина становится соизмеримой с его размерами.

Микрофон-приемник градиента давления или скорости имеет характеристику направленности в виде восьмерки (рис. 2,*б*) и таким образом обладает двусторонней направленностью. Комбинируя электрическую схему соединения двух микрофонов-приемников давления и скорости при предельно близком расположении их один к другому, можно добиться значительного изменения характеристики направленности, делая ее однонаправленной в виде кардиоиды (рис. 2,*в*), суперкардиоиды (рис. 2,*г*) или гиперкардиоиды (рис. 2,*д*). Комбинированный микрофон можно осуществить не только электрическим соединением двух различных приемников, но и путем создания специальной механико-акустической системы в единой конструкции (акустически комбинированный приемник).

Комбинированные микрофоны с однонаправленными характеристиками имеют широкое применение. Они совершенно необходимы в тех случаях, когда полезный звук воспроизводится с одной стороны (фронтальной), а с другой стороны (тыловой) имеется шумовая помеха. Такая обстановка характерна для телевизионных студий и киностудий, а также при внестудийных передачах. Для помещений с системой звукоусиления правильный выбор характеристики направленности и соответствующее расположение микрофона часто позволяют избежать акустической обратной связи.

Сочетанием двух комбинированных микрофонов можно создать приемник с более остронаправленной характеристикой, чем у каждого из них, что позволяет значительно улучшить передачу из помещений и мест с очень высоким уровнем шума.

Эффективность односторонне направленных микрофонов определяется отношением «фронт/тыл», т. е. отношением среднеарифметических значений фронтальной чувствительности микрофона к тыловой. Если эти среднеарифметические значения выражены в децибелах, то для вычисления в децибелах отношения «фронт/тыл» следует взять их разность.

Уровень собственных шумов. Незначительные изменения (флуктуации) давления воздуха вокруг микрофона, не зависимые от звуковых колебаний, вместе с тепловым шумом сопротивлений в электрических цепях микрофона создают на его выходе эффективное шумовое напряжение $U_ш$. Уровень этого шума $N_ш$ обычно определяется относительно напряжения U_0, развиваемого микрофоном под действием звукового сигнала в 0,1 *н/м*² (эффективное значение), по формуле

$$N_ш = 20 \lg \frac{U_ш}{U_0}.$$

У большинства промышленных типов микрофонов этот уровень мал (—50 *дб* и меньше), а потому обычно не нормируется. Однако для высококачественных трактов его необходимо оценивать.

МИКРОФОНЫ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Динамические (катушечные) микрофоны. Наиболее широкое распространение получили динамические (катушечные) микрофоны. Звукоприемником в них служит куполообразная диафрагма из тон-

кой полистироловой пленки (в старых типах применялась алюминиевая фольга). Диафрагма жестко связана со звуковой катушкой, находящейся в кольцевом зазоре магнитной системы. Катушка наматывается тонким проводом (до 0,02 *мм*), причем наряду с медным (марки ПЭЛ) часто применяется для уменьшения веса алюминиевый провод. Основные электрические и конструктивные данные наиболее распространенных типов динамических катушечных микрофонов приведены в приложении.

Достоинством этих микрофонов являются достаточно удовлетворительные электрические параметры, небольшие габариты, малый вес и ряд других свойств, позволяющих применять их в различных эксплуатационных условиях.

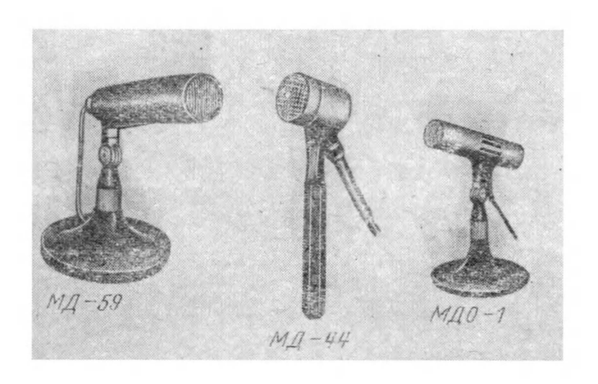


Рис. 3. Динамические (катушечные) микрофоны МД-59, МД-44 и МДО-1 (показаны в разных масштабах).

Старые типы таких микрофонов (например, МД-38) снабжены выходными трансформаторами, встроенными в кожух или подставку. Вторичная обмотка трансформатора имеет отвод, что позволяет иметь два-три значения выходного сопротивления и соответственно сопротивления нагрузки. Более современные микрофоны имеют подвижную катушку сопротивлением, близким к номинальной нагрузке, и используются без трансформаторов.

По характеристике направленности все динамические катушечные микрофоны можно подразделить на два вида: ненаправленные (с круговой характеристикой) и однонаправленные (с кардиоидной характеристикой).

К первому виду относится микрофон типа МД-59, внешний вид которого показан на рис. 3. Его типовые характеристики направленности для некоторых частот приведены на рис. 4, из которого видно, что совсем ненаправленным такой микрофон можно считать примерно до 1 000 *гц*. Частотная характеристика чувствительности микрофона МД-59 (рис. 5) охватывает широкий диапазон частот (50—15 000 *гц*) с малой неравномерностью (7—8 *дб*), что позволяет использовать его для студийного и проводного радиовещания, профессиональной звукозаписи и звукоусиления в театрах и концертных залах.

Ко второму виду однонаправленных микрофонов, имеющих особую механико-акустическую систему, относится микрофон типа МД-44, предназначенный для речевых передач (или звукоусиления) из помещений с повышенным уровнем шума или большим временем реверберации (гулкое помещение). Внешний вид этого микрофона в репортажном оформлении показан на рис. 3. Отвинтив ручку можно укрепить его на напольной или настольной стойке (штативе) так

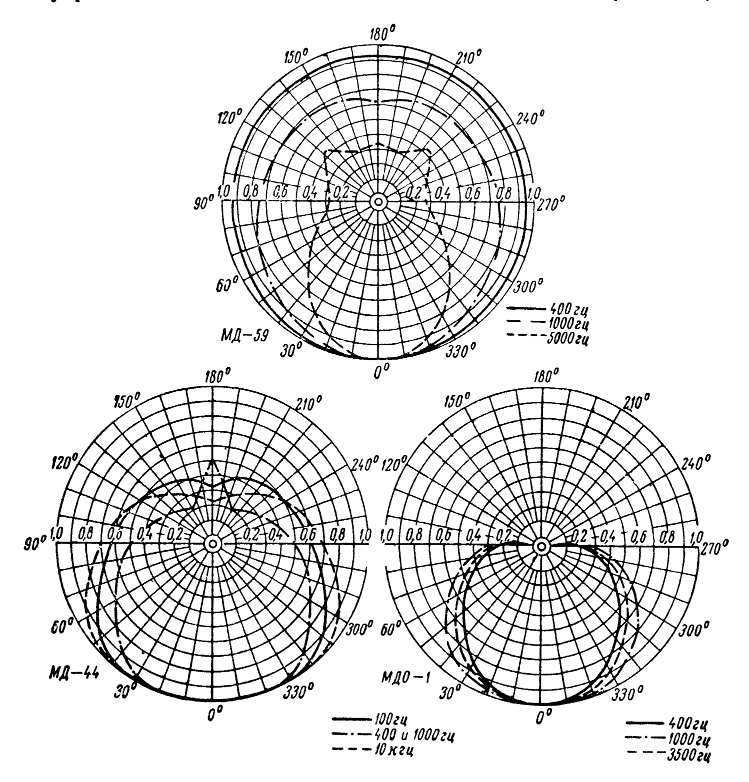


Рис. 4. Типовые характеристики направленности микрофонов МД-59, МД-44 и МДО-1.

же, как и всякий другой тип микрофона (резьба винтового шарнира стандартизирована и имеет диаметр 20 *мм*). Характеристики направленности микрофона МД-44 (рис. 4) на всех частотах приближаются по своему виду к кардиоиде. Номинальный частотный диапазон этого микрофона как речевого менее широкий и охватывает полосу частот 100—8 000 *гц* с заметным понижением в области низших частот, что способствует лучшей артикуляции (разборчивости) речи. На рис. 5 показаны частотные характеристики микрофона МД-44, измеренные с фронтальной и тыловой сторон. Последняя, соответствующая углу падения звуковой волны 180°, в области низших и

средних частот лежит значительно ниже, чем первая, что и обусловливает шумозащитные свойства микрофона (наиболее интенсивные компоненты шума обычно приходятся на эту область частот).

Дальнейшим развитием конструкции однонаправленных микрофонов является МДО-1 (рис. 3), представляющий собой объединенную конструкцию из двух микрофонов МД-44. Расстояние между их

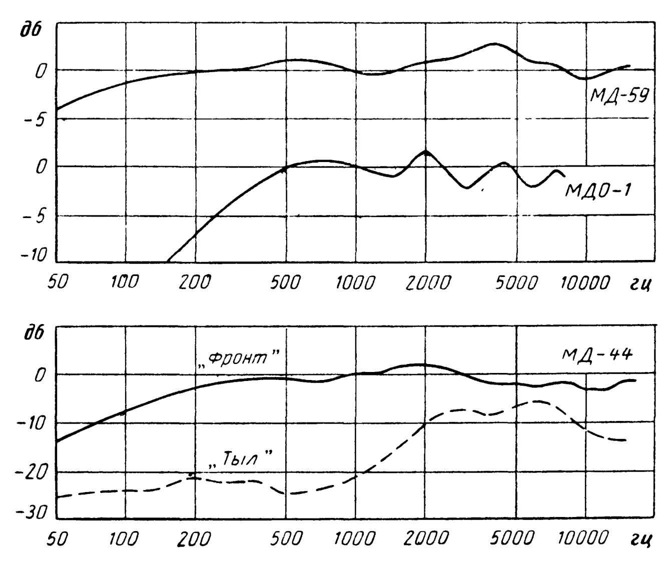


Рис. 5. Частотные характеристики микрофонов МД-59, МДО-1 и МД-44 (по «фронту» и «тылу»).

диафрагмами, направленными соосно в одну сторону, составляет 100 *мм*.

Из электрической схемы микрофона МДО-1, приведенной на рис. 6, видно, что микрофоны МД-44 соединены последовательно и противофазно. Один из микрофонов (задний) шунтирован конденсатором емкостью 0,5 *мкф*, который как бы отключает его (замыкает накоротко) на высших частотах, когда характеристика направленности одного микрофона МД-44 достаточно острая. Для снижения чувствительности в области средних частот с целью выравнивания частотной характеристики параллельно входу подключена фазокорректирующая цепочка, катушка индуктивности которой намотана таким образом, чтобы сопротивление ее было 100 *ом*. Все эти детали находятся внутри корпуса микрофона.

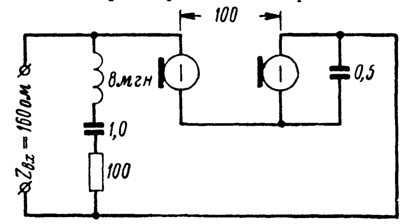


Рис. 6. Электрическая схема остронаправленного микрофона МДО-1.

Характеристика направленности микрофона МДО-1 показана на рис. 4. Этот микрофон может применяться для речевых передач или звукоусиления при большом уровне шума. Его частотная характеристика (рис. 5) также охватывает менее широкий, чем МД-59, диапазон частот с еще большим понижением чувствительности к низшим частотам, чем у микрофона МД-44.

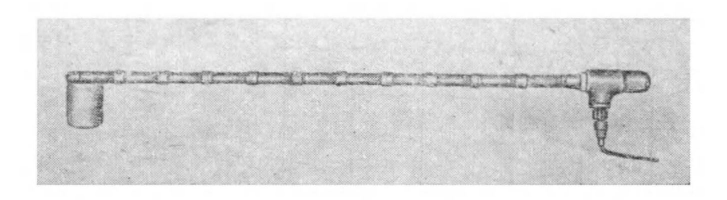


Рис. 7. Внешний вид микрофона МД-51.

Одной из последних конструкций остронаправленных динамических катушечных микрофонов является предназначенный для звукозаписи и усиления речи микрофон типа МД-51. Внешний вид этого микрофона представлен на рис. 7.

По принципу действия микрофон МД-51 является «линейным». Он представляет собой акустическую «линию» — звукопровод длиной 700 *мм*, один конец которого свободен, а другой соединен с ди-

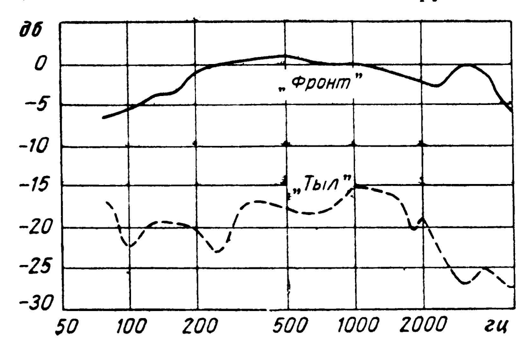


Рис. 8. Частотные характеристики микрофона МД-51 (по «фронту» и «тылу»).

намическим катушечным микрофоном-приемником градиента давления. Звукопровод имеет 24 отверстия диаметром 3 *мм*, равномерно расположенных по всей его длине и закрытых шелком, служащим акустическим сопротивлением. Параметры акустико-механической системы микрофона подобраны так, чтобы на низших и средних частотах была наибольшая направленность.

Частотные характеристики микрофона МД-51 для фронтального и тылового направлений прихода звука показаны на рис. 8, а его типовые характеристики направленности в горизонтальной плоскости приведены на рис. 9. Из этих характеристик видно, что микрофон

МД-51 обладает более узким номинальным частотным диапазоном, но значительно большей направленностью, чем микрофон МД-44. Последнее обстоятельство обусловливает и большую, чем у микрофона МД-44, разницу в чувствительностях между фронтом и тылом.

Ленточные и комбинированные микрофоны. Внешний вид, размеры, вес и конструкция ленточных микрофонов значительно отличаются от динамических (катушечных), хотя индукционный принцип действия и тех, и других один и тот же. Звукоприемником в ленточном микрофоне служит гофрированная ленточка из очень тонкой (порядка 0,002 *мм*) алюминиевой фольги. Эта ленточка располагается в верхней части микрофона в плоской щели магнитной системы и закрывается перфорированным кожухом. Она подключается к пер-

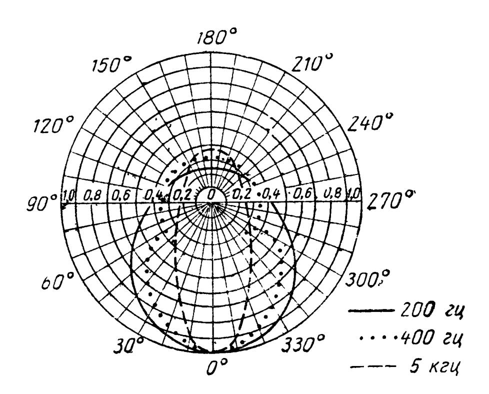


Рис. 9. Типовые характеристики направленности микрофона МД-51.

вичной обмотке согласующего (повышающего) трансформатора, приводящего ее низкие электрическое сопротивление и э. д. с. к номинальным. Трансформатор располагается обычно под магнитной системой в корпусе микрофона и представляет с ним единое целое.

Конструкция ленточных микрофонов с двусторонне открытой ленточкой типична для приемников градиента давления (скорости). К ним относится микрофон типа МЛ-15, имеющий характеристики направленности (рис. 10) в виде восьмерок (косинусоид), почти не зависящие от частоты, потому что ширина ленточки значительно меньше длины волны всех частот номинального диапазона. Чувствительность его такого же порядка, как у катушечных микрофонов, а частотная характеристика (рис. 11) охватывает примерно такой же широкий диапазон частот (50—10 000 *гц*) и имеет лучшую равномерность (отклонения менее 5 *дб*).

Помимо чисто скоростного ленточного микрофона, существуют и комбинированные ленточные микрофоны с кардиоидной характеристикой направленности. Наиболее просто это осуществляется электрическим соединением в одной конструкции двух микрофонов: ленточного приемника скорости и катушечного приемника давления (микрофон 10А-1, МДЛ). Такой способ позволяет весьма просто осуществлять электрическое переключение характеристики направ-

ленности. Если включить только один катушечный микрофон, то будет круговая характеристика; с одним ленточным микрофоном характеристика будет в виде восьмерки, а оба этих последовательно соединенных микрофона при соответствующей фазировке и чувстви-

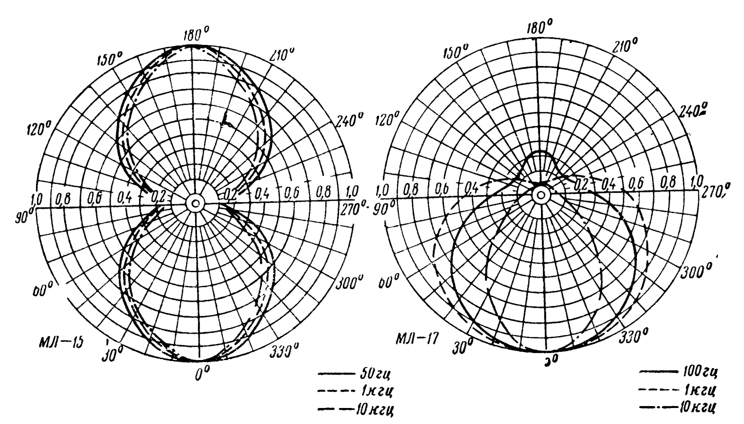


Рис. 10. Типовые характеристики направленности микрофонов МЛ-15 и МЛ-17.

тельности дадут кардиоидную характеристику. Формирование такой характеристики направленности двумя указанными микрофонами показано на рис. 12.

В более современных микрофонах комбинирование приемников давления и скорости осуществляется акустическим путем в одном

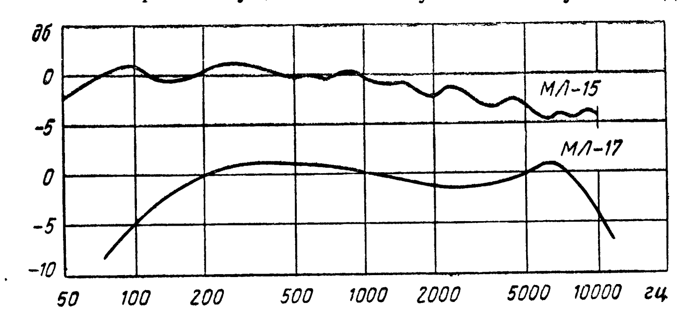


Рис. 11. Частотные характеристики микрофонов МЛ-15 и МЛ-17.

микрофоне, в котором используется только одна ленточка. С одной (задней) стороны эта ленточка наполовину по длине закрывается, а образующаяся полость соединяется со специальной трубкой, заполненной комочками ваты. Таким образом, эта половина ленточки, имеющая своеобразную «бесконечную нагрузку» (лабиринт), будет работать приемником давления, а открытая ее половина — приемни-

ком скорости. В целом же такой микрофон будет иметь кардиоидную характеристику направленности. Характеристики направленности микрофона этого типа (МЛ-17) показаны на рис. 10, а его частотная характеристика приведена на рис. 11. Там же помещены аналогичные характеристики простого ленточного микрофона типа МЛ-15.

Ленточным микрофонам и вообще всем приемникам градиента давления свойствен так называемый «эффект ближней зоны», вызываемый возрастанием чувствительности на низших частотах в случае расположения микрофона вблизи от источника звука. Для иллюстрации этой особенности ленточного микрофона на рис. 13 приводится

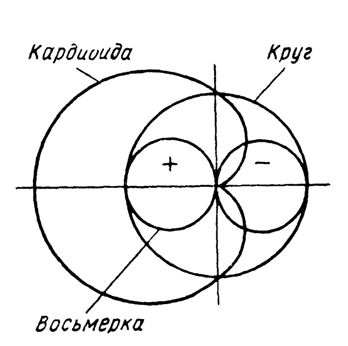


Рис. 12. Формирование кардиоиды из восьмерки и круга.

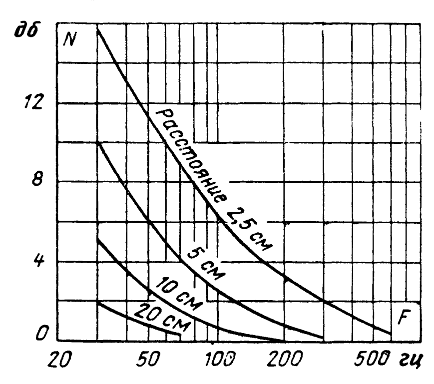


Рис. 13. Частотные характеристики микрофона-приемника градиента давления (скорости) в зависимости от расстояния до источника звука.

семейство характеристик, показывающих, как возрастает чувствительность N микрофона на низших частотах в зависимости от расстояния до источника звука. Чтобы избежать подчеркивания низших частот, надо размещать исполнителей на расстоянии не менее 0,3—0,5 *м* от таких микрофонов. Для снижения отдачи в области низших частот часто предусматривается электрическая коррекция в виде дросселя, шунтирующего первичную обмотку выходного трансформатора.

Ленточные микрофоны сравнительно тяжелы и громоздки. Они в основном предназначаются для музыкальных передач из студий и других закрытых помещений. При внестудийных условиях их следует тщательно оберегать от воздействия ветра из-за возможности обрыва ленточки, а также значительного увеличения уровня шумов вследствие обтекания корпуса микрофона воздушным потоком и возникновения завихрений.

Конденсаторные микрофоны. Весьма высокая чувствительность, а также широкополосная и равномерная частотная характеристика отличают конденсаторные микрофоны от других микрофонов. А если к этому прибавить еще возможность легко и даже дистанционно в широких пределах изменять характеристику направленности, то станет понятным повсеместное распространение в настоящее время

конденсаторных микрофонов в высококачественных системах радиовещания и звукозаписи.

Звукоприемный капсюль конденсаторного микрофона представляет собой плоский воздушный конденсатор, у которого одна из обкладок служит диафрагмой, воспринимающей звуковые колебания. Выполняется эта обкладка из очень тонкой (10—30 *мк*) металлической фольги, нержавеющей стали, дюралюминия, никеля или из еще более тонкой металлизированной с одной стороны полимерной пленки. Вторая неподвижная и довольно массивная обкладка расположена на небольшом расстоянии (20—40 *мк*) от диафрагмы. Такой капсюль может быть небольшим по размерам, емкостью в несколько десятков пикофарад. Для увеличения температурной стабильности все металлические части капсюля обычно делают из того же материала, что и диафрагму.

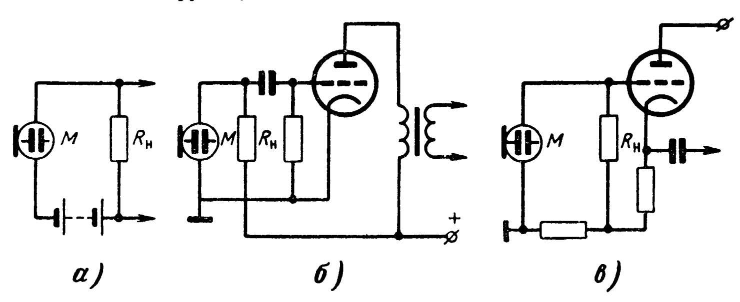


Рис. 14. Электрические схемы конденсаторных микрофонов.

а — принципиальная схема включения капсюля; *б* — трансформаторная схема согласующего каскада; *в* — согласующий каскад по схеме катодного повторителя.

Капсюль конденсаторного микрофона *М* включается в схему (рис. 14,*а*) последовательно с нагрузочным резистором $R_н$ и источником постоянного (поляризующего) напряжения (батарея). Принцип действия конденсаторного микрофона заключается в том, что когда под действием звуковой волны диафрагма колеблется, то изменяется емкость капсюля, а следовательно, и ток в цепи. При возрастании емкости возникает ток заряда, а при ее уменьшении ток разряда. Вследствие этого в цепи протекает переменный ток, создающий на резисторе нагрузки $R_н$ переменное напряжение, пропорциональное звуковому давлению на диафрагме капсюля. Чтобы из-за малой емкости капсюля, включенного последовательно с нагрузкой, чувствительность конденсаторного микрофона не снижалась даже на самых низших частотах (30—50 *гц*), когда емкостное сопротивление капсюля наибольшее, сопротивление резистора нагрузки должно быть очень высоким (более 100 *Мом*).

При малой емкости капсюля и большом сопротивлении нагрузки исключается обычное присоединение микрофона к усилителю даже сравнительно коротким кабелем (1,5—2 *м*), так как при этом резко падает чувствительность микрофона и заметно возрастает уровень собственного шума и наводимых помех (емкость соединительного кабеля образует с емкостью капсюля делитель напряжения). Поэтому в конструкцию конденсаторного микрофона всегда входит ламповый согласующий каскад, расположенный рядом с капсюлем, выполняе-

мый либо с выходным трансформатором (рис. 14,*б*), либо по схеме катодного повторителя (рис. 14,*в*). Для питания этого каскада и подачи на капсюль поляризующего напряжения (50—100 *в*) в комплект конденсаторного микрофона всегда входит отдельное специальное питающее устройство.

В одном из первых студийных конденсаторных микрофонов типа 19А-4 можно получить две характеристики направленности (одну круговую, а другую — близкую к кардиоиде) путем поворота экрана из органического стекла, надетого на капсюль микрофона, открывающего или закрывающего отверстия в корпусе капсюля. При открытых отверстиях на тыльную сторону диафрагмы воздействуют звуковые колебания, прошедшие через специальную механико-акустическую систему, и характеристика направленности получается в виде

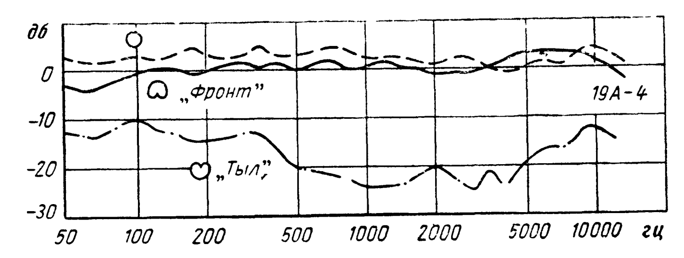


Рис. 15. Частотные характеристики микрофона 19А-4 (по «фронту» и «тылу»).

кардиоиды, а при закрытых отверстиях она становится круговой. Частотные характеристики микрофона 19А-4 для обоих видов направленности (рис. 15) охватывают диапазон 50—12 000 *гц* при неравномерности не более 10 *дб*.

В более новой модели студийного конденсаторного микрофона 19А-10, входящего в комплект КМС-3, можно получить восемь видов характеристик направленности: круг, восьмерку, кардиоиду, суперкардиоиду и гиперкардиоиду (последние три характеристики дублируются поворотом оси максимальной чувствительности на 180°). Эти характеристики переключаются дистанционно — путем коммутации вторичных обмоток дополнительных выходных трансформаторов, находящихся у звукорежиссера. Как видно из схемы микрофона 19А-10 (рис. 16), он содержит двусторонний капсюль, каждая сторона которого имеет свой согласующий каскад, использующий малошумящую лампу типа 6С6Б с пониженным микрофонным эффектом. Каждая сторона капсюля обладает однонаправленной характеристикой и идентична другой стороне, а акустические оси их повернуты на 180°. Комбинирование напряжений от каждой стороны капсюля и изменение на 180° их фазы позволяют изменять характеристики направленности этого микрофона.

Наряду с таким способом дистанционного переключателя характеристик направленности конденсаторного микрофона применяется также переключение характеристики путем изменения соответствующего поляризующего напряжения диафрагмы одной из половин двустороннего капсюля. Схема микрофона КМ-55А с такой регулировкой показана на рис. 17. Из нее видно, что когда переключатель *П* установлен в положение *2*, то правая по схеме половина капсюля *М*

не получает поляризующего напряжения (по отношению к неподвижному электроду) и отключается; микрофон при этом становится однонаправленным с характеристикой кардиоиды, от левой поло-

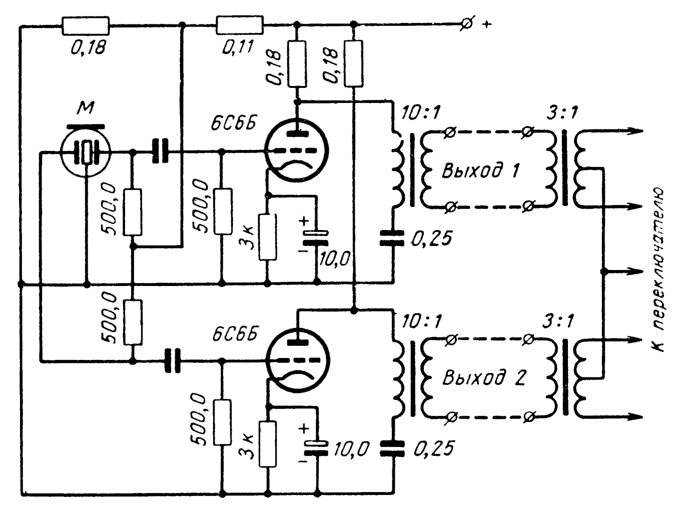


Рис. 16. Электрическая схема микрофона 19А-10.

вины капсюля. Когда же на обе половины капсюля подается одинаковое поляризующее напряжение (переключатель в положении *3*), то происходит сложение двух одинаковых кардиоид, развернутых на 180°; в этом случае микрофон имеет ненаправленную характеристику

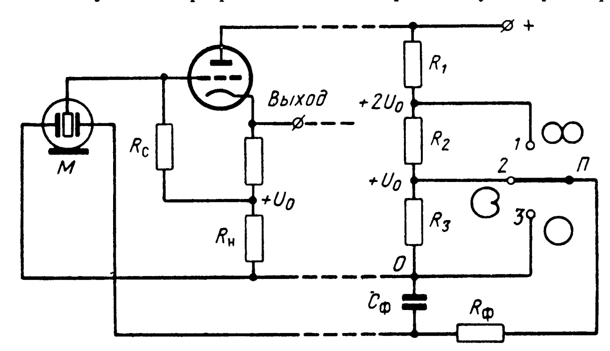


Рис. 17. Электрическая схема микрофона КМ-55А.

(круг). При перемене полярности напряжения (переключатель в положении *1*) происходит вычитание двух кардиоид, в результате чего получается биполярная характеристика направленности микрофона (восьмерка).

Высокие качества конденсаторных микрофонов привели к тому, что они стали широко применяться и для измерительных целей. Измерительные микрофоны, являясь приемниками давления, имеют круговую характеристику направленности (во всяком случае до 5—8 *кгц*). Они обладают весьма широким номинальным частотным диапазоном при сравнительно малой неравномерности частотной характеристики. Например, характеристика микрофона МК-6 охватывает диапазон частот 20—40 000 *гц* при неравномерности всего 5 *дб*. Для уменьшения направленности на высших частотах (из-за дифракционных явлений) и влияния на измеряемое звуковое поле (его искажение) измерительные микрофоны имеют небольшие габариты.

Помимо микрофона МК-6, для измерительных целей выпускаются микрофоны МК-5а и МИК-6с, а также акустический зонд ЗА-4. Последний был разработан для того, чтобы еще меньше искажать микрофоном звуковое поле, а также для измерения звукового давления там, где невозможно использовать измерительный микрофон из-за его неподходящих размеров (например, в небольших камерах).

Звук в акустическом зонде принимается трубкой (акустической линией) и проходит по ней к диафрагме конденсаторного микрофона. Отличительная особенность зонда заключается в специально подобранной акустической нагрузке на выходном конце трубки, обеспечивающей равномерность частотной характеристики.

Звукоприемная трубка зонда ЗА-4 металлическая, длиной 400, наружным диаметром 6 и внутренним диаметром 4 *мм*. Металлическая трубка переходит в резиновую длиной 2,5 *м*. Отражение звука от конца резиновой трубки устраняется введением внутрь нее ворсистой шерстяной нитки. Внешний вид акустического зонда ЗА-4 показан на рис. 18. Основные данные измерительных микрофонов и зонда приводятся в приложении.

Эксплуатация и хранение микрофонов. При эксплуатации микрофоны укрепляются на стойках или штативах различной длины: коротких, если микрофон устанавливается на столе или кафедре, и длинных при установке на полу. В больших студиях микрофоны подвешиваются на «журавли» — специальные передвижные устройства, позволяющие перемещать микрофон выше головы исполнителей в различные точки студии даже во время передачи.

Микрофоны очень чувствительны к малейшим вибрациям, сотрясениям и толчкам, которые могут возникать в помещении, где установлен микрофон, и передаваться через ограждающие поверхности (строительные конструкции) и соприкасающиеся с микрофоном предметы (например, стол или штатив). Поэтому микрофон должен быть надежно амортизирован. Особенно тщательно следует амортизировать микрофоны, установленные на «журавлях» и те, которые необходимо перемещать (например, в телестудии). При установке и перевозке микрофоны следует предохранять от ударов и резких сотрясений.

По окончании работы на динамический (катушечный) микрофон необходимо надеть чехол (лучше из пленки), предохраняющий микрофон от попадания в него пыли и железных опилок. Храниться такие микрофоны должны в помещении с относительной влажностью воздуха не выше 80% и температурой не ниже +5° С. По сравнению с ленточными и конденсаторными катушечные микрофоны более устойчивы к сотрясениям, а также к изменениям температуры и влажности.

Условия эксплуатации и хранения ленточных микрофонов в основном такие же, однако наличие в них весьма тонкой и свободно висящей ленточки требует еще большей осторожности. Чтобы ленточка не провисла, микрофон следует держать всегда в вертикальном положении на подставке, стойке или другом устройстве и хранить только в футляре.

Конденсаторные микрофоны во время работы находятся под напряжением, поэтому двигать, переставлять и даже переносить их

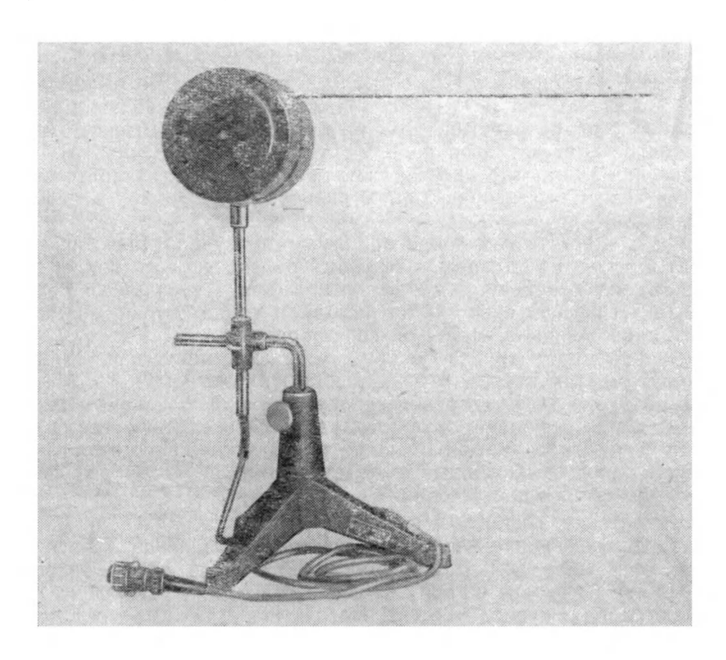


Рис. 18. Внешний вид акустического зонда ЗА-4

рекомендуется только при отключенном питании. Располагать конденсаторные микрофоны и их соединительные кабели следует возможно дальше от линий переменного тока. По окончании работы и выключении питания на микрофон необходимо надеть специальный предохранительный чехол из влагонепроницаемой пленки. Следует иметь в виду, что повышенная влажность воздуха вызывает снижение чувствительности и повышение уровня шумов микрофона. Именно поэтому конденсаторные микрофоны редко используют для работы на открытом воздухе.

Необходимо отметить, что использование любого микрофона на открытом воздухе сопряжено со значительными шумовыми помехами, вызываемыми воздушными потоками от ветра, сквозняков и т. п. Для борьбы с этим применяют ветровую защиту микрофона, надевая на него проволочный каркас обтекаемой формы (в несколько раз больше микрофона), обтянутый очень редкой шелковой или капроновой тканью (рис. 19). Во многих случаях достаточно накрыть

звукоприемную часть микрофона полусферой из поролона толщиной 2—3 *мм* или из трех-четырех слоев тонкой металлической сетки.

При длительных перерывах в работе весь комплект микрофона рекомендуется укладывать в специальный футляр (чемодан).

Осторожное обращение с микрофоном необходимо и во время обычных проб перед работой. Ни в коем случае не следует дуть в микрофон; достаточно слегка постучать по корпусу карандашом или ногтем и негромко сказать несколько слов на расстоянии 10—15 *см* от микрофона.

Ремонт микрофонов требует высокой и узкоспециальной квалификации мастера-регулировщика и должен выполняться в условиях абсолютной чистоты при наличии особых приспособлений, соответствующих материалов и запасных деталей. Неисправный капсюль микрофона не следует ремонтировать в той же мастерской, где ремонтируется другая радиоаппаратура.

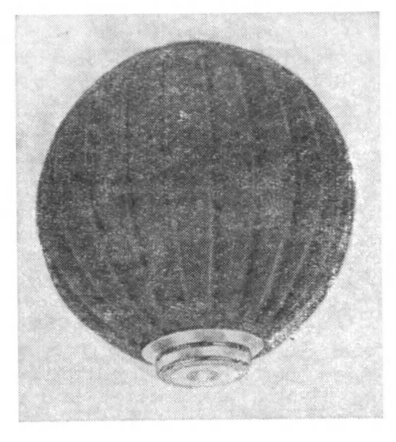


Рис. 19. Внешний вид противоветрового экрана для микрофонов.

Калибровка микрофонов. Целью калибровки микрофона чаще всего является измерение частотной характеристики его чувствительности или просто определение его чувствительности на одной или нескольких частотах. Последнее делается обычно для быстрой проверки пригодности микрофона.

Калибровку микрофона чистым тоном (синусоидальный сигнал) можно производить в специальной заглушенной камере или на открытом воздухе вдали от отражающих поверхностей и в 1,5—2,5 *м* от земли. Наиболее просто калибровка осуществляется с помощью образцового микрофона (желательно небольших размеров), который, будучи помещен в непосредственной близости к калибруемому микрофону, позволяет оценить звуковое давление, воздействующее на последний. Источником звука обычно служит электродинамический громкоговоритель, подключенный к звуковому генератору.

Определив образцовым микрофоном величину звукового давления и измерив милливольтметром напряжение от калибруемого микрофона при сопротивлении нагрузки много больше номинального, делят напряжение (*мв*) на звуковое давление (*н/м*^{2}) и находят чувствительность калибруемого микрофона в режиме «холостого хода». Если образцовый микрофон обладает хорошей частотной характеристикой (близкой к горизонтальной линии) и имеется звуковой генератор или усилитель с компрессором, то с помощью последнего по образцовому микрофону поддерживается постоянная величина звукового давления, что упрощает калибровку.

А если имеется хороший по своим параметрам магнитофон, то калибровка может производиться без постоянного применения образцового микрофона. Он нужен только вначале калибровки, чтобы,

поддерживая компрессором постоянную и определенную величину звукового давления, записать на магнитную ленту сигнал, подаваемый на громкоговоритель. После этого образцовый микрофон уже не нужен. Точно на его место надо установить калибруемый микрофон, а на громкоговоритель подавать сигнал уже не от звукового генератора, а от магнитофона. Напряжение на громкоговорителе при этом должно точно соответствовать тому, которое было на нем во время записи. Поскольку величина звукового давления уже известна, для определения чувствительности калибруемого микрофона необходимо измерить или записать на самописце его напряжение.

Располагая магнитной записью сигнала, обеспечивающего определенное звуковое давление (в неизменных акустических условиях и с тем же громкоговорителем), можно осуществлять многократную калибровку одного или многих микрофонов, пользуясь только один раз образцовым микрофоном.

Необходимость проведения калибровки микрофона в заглушенной камере или на открытом воздухе обусловлена влиянием отражающих поверхностей, всегда имеющихся в обычном помещении. Отражения звуковых волн от этих поверхностей нарушают однородность звукового поля вследствие образования стоячих волн, и поэтому незначительное перемещение микрофона ведет к значительному изменению звукового давления, что резко снижает точность калибровки.

Если для калибровки микрофонов вместо синусоидального сигнала использовать узкую полосу частот, вырезаемую из шума сплошного спектра (белый шум), то благодаря статистическому усреднению результатов измерения в этом случае приближенную калибровку можно выполнить и в обычном помещении. Для получения шумового сигнала используется шумовой генератор. Ширина полосы частот, вырезаемой фильтром, составляет $1/3$ или $1/2$ октавы. Полосовой фильтр следует включить в микрофонный (приемный) тракт, а громкоговоритель возбуждать или через однооктавный фильтр (что лучше), или же шумом сплошного спектра.

Для калибровки чувствительности измерительных микрофонов применяются специальные приборы, пользование которыми не требует специального заглушенного помещения, так как звукоприемная часть микрофона помещается в малогабаритную камеру-полость. К этим приборам относятся дробовой генератор шума, пистонфон (поршневой датчик звукового давления), электростатический возбудитель для конденсаторных микрофонов и прибор для калибровки конденсаторных микрофонов методом взаимности.

МИКРОФОНЫ ДЛЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИХ УСТРОЙСТВ

Радиолюбители применяют микрофоны в магнитофонах, на любительских (самодельных) радиоузлах, в коротковолновых и ультракоротковолновых передатчиках. Последние часто конструируются малогабаритными (переносными), и к ним поэтому необходим соответствующий малогабаритный микрофон.

Динамические микрофоны. В стационарных устройствах пригодны многие типы микрофонов, о которых говорилось выше. Однако сравнительно большая стоимость и высокие эксплуатационные требования ограничивают возможности применения в любительских условиях некоторых наиболее чувствительных и сложных типов микрофонов. Между тем более низкие технические требования к люби-

тельской аппаратуре вполне допускают работу с простыми и дешевыми динамическими микрофонами, такими, например, как МД-41 и МД-47. Типовая частотная характеристика лучшего из этих микрофонов (МД-47) дана на рис. 20.

Кроме указанных, часто применяются и другие типы динамических микрофонов, например такие, как МД-42, МД-46 и МД-55. Основное отличие этих микрофонов от специально выпускаемых для любительских целей микрофонов МДМ-1, МД-41 и МД-47 заключается в отсутствии выходного трансформатора, вследствие чего они имеют низкоомное выходное сопротивление (обычно 250 *ом*) и малую чувствительность.

Наряду с микрофоном МД-47 разработан более совершенный микрофон широкого применения типа МД-64, предназначенный для

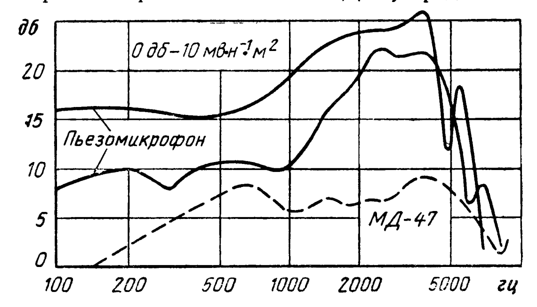


Рис. 20. Частотные характеристики динамического микрофона МД-47 и пьезоэлектрических микрофонов от слуховых аппаратов.

репортерских передач и любительской звукозаписи при работе на низкоомную (250 *ом*), среднеомную (3—5 *ком*) и высокоомную (0,5 *мгом*) нагрузки. Этот микрофон имеет более широкий номинальный частотный диапазон при значительно большей равномерности частотной характеристики. Он является однонаправленным микрофоном (характеристики его направленности имеют вид кардиоды). Переключение на низкоомную, среднеомную и высокоомную нагрузки осуществляется с помощью трансформатора, расположенного в основании микрофона. Внешний вид микрофона МД-64 показан на рис. 21.

Кроме микрофонов МД-64, для репортерских передач и любительской звукозаписи применяется ненаправленный динамический микрофон типа МД-62 (рис. 22), имеющий значительно меньшие диаметр и вес. Этот микрофон не содержит выходного трансформатора. Его номинальная нагрузка 250 *ом*, а стандартный уровень чувствительности не менее 88 *дб*. Типовые частотные характеристики микрофонов МД-64 и МД-62 приведены на рис. 23.

Следует иметь в виду, что применять динамические микрофоны без выходных трансформаторов нецелесообразно, так как их недостаточную чувствительность приходится компенсировать в усилителе. Повышающий микрофонный выходной трансформатор, предназначенный для работы на высокоомный вход лампового усилителя, должен иметь коэффициент трансформации не менее 20—25. Так, например, трансформатор микрофона МД-41 имеет коэффициент 25

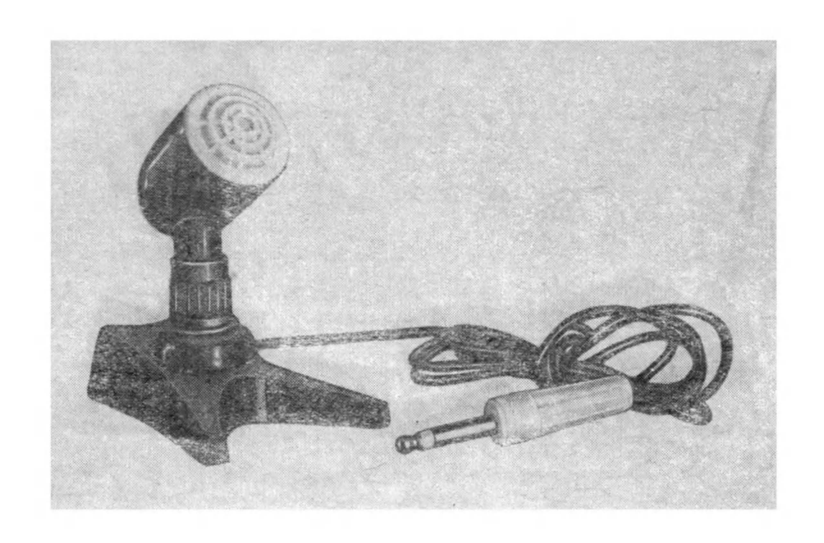


Рис. 21. Внешний вид микрофона МД-64.

(его первичная обмотка содержит 140 витков провода ПЭЛШО 0,25, а вторичная — 3 500 витков провода ПЭВ 0,13). Сердечник трансформатора изготовлен из пермаллоевой ленты, свернутой кольцом (ширина ленты 9, внутренний диаметр сердечника 25, а внешний 65 *мм*).

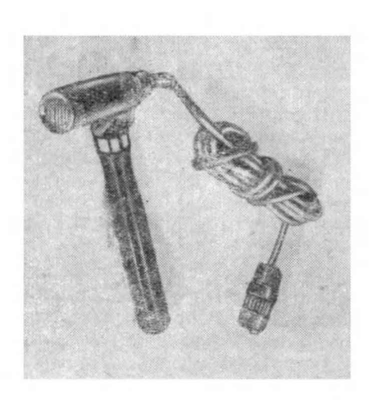


Рис. 22. Внешний вид микрофона МД-62.

Поскольку микрофонный трансформатор присоединяется к входу усилителя и передает очень слабый сигнал, большую опасность могут представить внешние магнитные и электрические поля, индуцирующие фон и другие помехи во входные цепи усилителя. Для защиты от этих помех и применяется тороидальный или кольцевой сердечник, намотка ведется строго симметрично и, кроме того, весь трансформатор хорошо и тщательно экранируется толстостенным (до 5—8 *мм*), а часто двойным экраном из пермаллоя или специальных мягких сортов стали.

Вместо трансформатора можно с успехом применить автотрансформатор, позволяющий лучше использовать окно сердечника и дающий лучшую частотную характеристику в области высших частот. Однако и в нем следует симметрировать обмотку. Так, например, сделано в микрофоне МД-47, где применен автотрансформатор на сер-

дечнике из пластин Ш 10×5 *мм* с первичной обмоткой 40+40 витков (со средней точкой), последовательно с которой включена вторичная обмотка из 3 000 витков. Намотка сделана подряд, вразброс проводом ПЭЛ 0,07. Звуковая катушка микрофона подключается к первичной обмотке (80 витков), средняя точка которой соединяется с экраном (шасси, заземляющая шина), чем и достигается симметрирование.

Соединительный кабель для микрофонов должен быть не очень длинным (1—1,5 *м*), малоемкостным и хорошо экранированным (например, марки ПРДЭШ или КММ-2). Не рекомендуется использовать экранную оплетку (броню) в качестве токопроводящего провода. Экран кабеля должен соединяться с корпусом микрофона и на входе усилителя — с шасси (экраном) или общей заземляющей шиной.

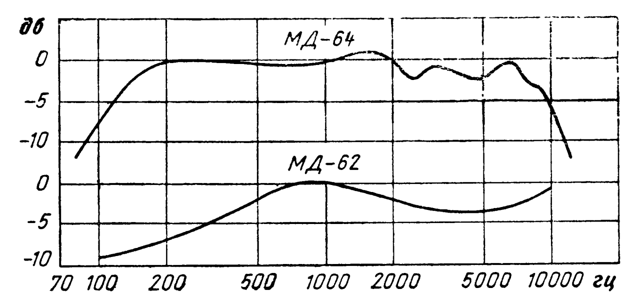


Рис. 23. Типовые частотные характеристики микрофонов МД-62 и МД-64.

К микрофонам, применяемым в переносных малогабаритных устройствах, часто предъявляются еще более пониженные требования: они должны лишь обеспечить достаточную разборчивость (артикуляцию) речи. Этому требованию удовлетворяют весьма простые по конструкции и малогабаритные микрофоны с металлической диафрагмой, обычно работающие в аппаратуре местной или междугородной телефонной связи и других специальных устройствах (например, в слуховых аппаратах для тугоухих). Такие микрофоны подразделяются на пьезоэлектрические, электромагнитные и угольные.

Пьезоэлектрические микрофоны. Для преобразования звуковых колебаний в электрические используется также пьезоэлектрический эффект, выражающийся в том, что при деформации некоторых кристаллов на их поверхности возникают электрические заряды, величина которых пропорциональна деформирующей силе. Наибольшим пьезоэффектом обладают кристаллы сегнетовой соли. Вырезанные особым образом пластинки из искусственно выращенных таких кристаллов и служат основным рабочим элементом пьезомикрофонов.

По своим электроакустическим и эксплуатационным свойствам пьезомикрофоны не могут обеспечить требований, предъявляемых к профессиональным студийным и радиовещательным микрофонам. Однако такие их достоинства, как простота устройства, малый вес и габариты, а также небольшая стоимость, определили их применение в любительских устройствах и некоторых типах промышленной аппаратуры. Так, например, в слуховых аппаратах для тугоухих широко применялись пъезоэлектрические микрофоны с пластинками из

кристаллов сегнетовой соли, отличающиеся простотой конструкции, малым габаритом и весом, дешевизной и относительно высокой чувствительностью. Эти качества долгое время обеспечивали почти исключительное применение их в слуховых аппаратах с усилителем на миниатюрных радиолампах и в первых моделях транзисторных аппаратов.

К недостаткам пьезомикрофонов следует отнести высокое внутреннее сопротивление, имеющее емкостный характер, значительную неравномерность частотной характеристики, недостаточную эксплуатационную надежность (хрупкость, гигроскопичность), зависимость параметров от температуры и сравнительно низкую предельную температуру (40° С). На рис. 20 показаны две примерные частотные характеристики пьезомикрофонов от слуховых аппаратов в сравнении с частотной характеристикой динамического микрофона МД-47. Как видно из этого рисунка, пьезомикрофоны имеют среднюю чувствительность от 50—60 до 80—100 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$ со значительным подъемом в области 2—4 *кгц* (собственный резонанс диафрагмы, точнее, подвижной системы), где чувствительность доходит до 200 $мв \cdot н^{-1} \times \times м^2$, а в некоторых экземплярах и еще больше.

По форме частотной характеристики и значению чувствительности разные экземпляры пьезомикрофонов имеют значительный разброс. Чтобы низшие частоты не были слишком ослаблены, пьезомикрофоны должны включаться на нагрузку не менее 3—5 *Мом* и размещаться в непосредственной близости к входному каскаду усилителя.

Выпускаются два типа пьезомикрофонов: круглые (диаметром 35 и высотой 6 *мм*) от слухового аппарата «Звук» и прямоугольные (размерами 22,5×16×6 *мм*) от аппаратов «Слух» и «Кристалл». Вес таких микрофонов 10—12 *г*. Емкость пьезоэлемента порядка 500—1 500 *пф*. В круглом микрофоне внутри вмонтирован резистор сопротивлением 5 *Мом*, подключенный к выводным контактам. Внешний вид этих микрофонов показан на рис. 24.

Электромагнитные микрофоны. Высокое внутреннее сопротивление пьезомикрофонов оказалось особенно неудобным при работе с транзисторными усилителями, которые обычно имеют низкое входное сопротивление. Для таких усилителей весьма подходящими оказались электромагнитные микрофоны, имеющие к тому же более высокие эксплуатационные качества (более высокая допустимая температура).

Принцип работы электромагнитной системы состоит в том, что колеблющийся от звуковых волн якорь из мягкой или специальной стали воздействует на магнитное поле, образованное постоянным магнитом. Якорь находится в рабочем зазоре магнитной системы и жестко связан с диафрагмой, воспринимающей звуковые колебания, а потому колеблется вместе с ней, вызывая колебания магнитного поля. В результате такого процесса в катушке, намотанной поверх якоря или полюсных наконечников и расположенной в том же магнитном поле, возникает э. д. с., соответствующая звуковым колебаниям, воздействующим на диафрагму.

Для транзисторных слуховых аппаратов выпускается малогабаритный электромагнитный микрофон типа М-1 (рис. 24,*в*) прямоугольной формы, размерами 24×16 *мм* и весом 10 *г*, похожий по виду на прямоугольный пьезомикрофон. Относительная частотная характеристика такого электромагнитного микрофона (относительно

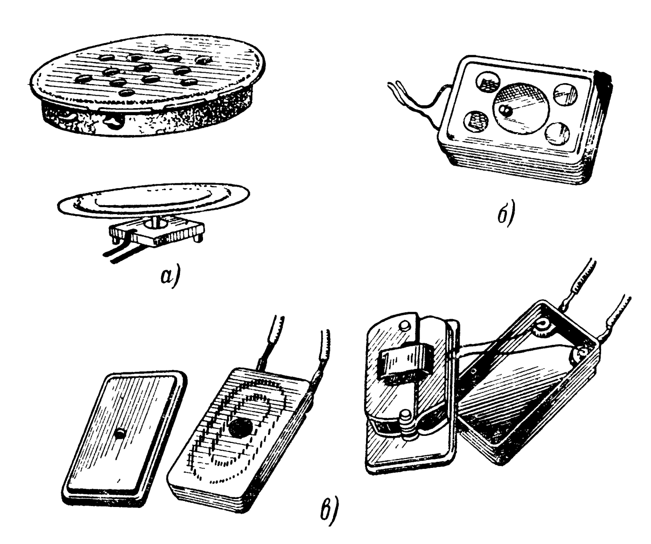


Рис. 24. Внешний вид и устройство микрофонов от слуховых аппаратов.

а — пьезомикрофон от аппарата «Звук»; *б* — пьезомикрофон от аппаратов «Слух» и «Кристалл»; *в* — электромагнитный микрофон М-1.

чувствительности на частоте 1 000 *гц*) показана на рис. 25. Абсолютная чувствительность пропорциональна количеству витков обмотки, определяющих также внутреннее сопротивление микрофона, и величине магнитного потока. Стандартное активное сопротивление об-

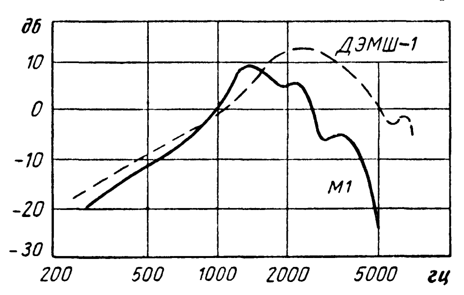


Рис. 25. Частотные характеристики электромагнитных микрофонов ДЭМШ-1 и М-1.

мотки 250—300 *ом*; при этом чувствительность на частоте 1 000 *гц* достигает 3—5 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$.

Широкое распространение получил дифференциальный электромагнитный микрофон ДЭМШ-1, устройство которого схематически показано на рис. 26. Модернизированный тип ДЭМШ-1А имеет полюсные наконечники, ввинчивающиеся во фланцы, что обеспечивает

удобную регулировку зазора между ними и диафрагмой. Относительная частотная характеристика микрофона ДЭМШ-1 приведена на рис. 25, его средняя чувствительность при одинаковых электрических параметрах с электромагнитным микрофоном от слухового аппарата ниже на 20—25 *дб*. Активное сопротивление обмотки 70—150 *ом*.

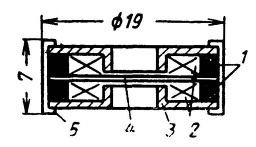


Рис. 26. Устройство электромагнитного микрофона ДЭМШ-1.

1 — кольцевые магниты; *2* — обмотка; *3* — фланцы с полюсными наконечниками; *4* — диафрагма; *5* — обойма.

В отличие от всех других типов описанных здесь микрофонов, являющихся звукоприемниками давления, ДЭМШ-1 имеет открытую с обеих сторон диафрагму, а потому является приемником градиента давления. Чувствительность такого микрофона близка к нулю в случае, если направление приходящего звука лежит в плоскости диафрагмы. Такое свойство при надлежащем расположении микрофона около рта говорящего (микрофон должен почти вплотную прилегать ребром к углу рта) резко уменьшает воздействие внешних шумов, повышая тем самым эффективность работы микрофона в шумных условиях. При использовании микрофона ДЭМШ-1 в условиях небольшого уровня шума можно одну его сторону заклеить резиной или замазать пластилином, превратив его таким образом в приемник давления.

К электромагнитным микрофонам относится и унифицированный капсюль типа ДЭМ-4м (рис. 27), который применяется и как микрофон, и как телефон (такая обратимость свойственна и всем другим типам электромагнитных микрофонов). Он имеет диаметр 55 *мм*, высоту 30 *мм* и вес 125 *г*. В микрофонном применении рабочая полоса частот капсюля ДЭМ-4м лежит в пределах 300—3 000 *гц*, среднее значение полного сопротивления в этой полосе не ниже 600 *ом* (активное сопротивление обмотки около 60 *ом*), а средняя чувствительность в той же полосе на нагрузке 0,5 *Мом* не ниже 10 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$.

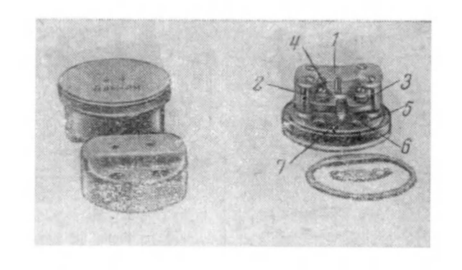


Рис. 27. Электромагнитный микротелефонный капсюль ДЭМ-4м.

1 — полюсный наконечник; *2* — латунный болт; *3* — магнит; *4* — якорь; *5* — диффузор; *6* — регулировочный винт; *7* — пружина.

Угольные микрофоны. В некоторых устройствах, где от микрофона требуется возможно более высокая чувствительность, а все остальные параметры не имеют существенного значения, часто используются угольные микрофонные капсюли от микротелефонных трубок и гарнитур, применяемых на городских телефонных сетях.

В радиотехнической аппаратуре, особенно в малогабаритной и переносной (УКВ передатчики, репортерские магнитофоны), могут использоваться капсюли типа МК-10 и МК-59, внешний вид которых показан на рис. 28.

Капсюль МК-10 имеет штампованный металлический корпус, на дне которого укреплен неподвижный латунный электрод в виде диска, наружная поверхность которого покрыта тонким слоем палладия. Неподвижный электрод при помощи изоляционной втулки и двух шайб электрически изолирован от корпуса, на дно которого засыпается угольный порошок, сплошь покрывающий этот электрод. Подвижный электрод, выполненный из тонкой латуни в виде чашечки, также покрытый снаружи палладием, прикреплен к легкой металлической фигурной диафрагме, которая при помощи кольца крепится на краю корпуса. Чашечка погружается в угольный порошок.

Между диафрагмой и угольным порошком имеется тонкая шайба из эластичной пленки, прикрепленная сверху к подвижному электроду; она фиксирует порошок в корпусе. Корпус закрыт крышкой, завальцованной в край. В крышке имеется кольцевое отверстие для прохода звуковых колебаний, а сверху укреплен фигурный диск, предохраняющий корпус от попадания в него при разговоре влаги в виде брызг и капель. Диаметр капсюля 51 *мм,* наибольшая высота 25 *мм,* вес 60 *г.*

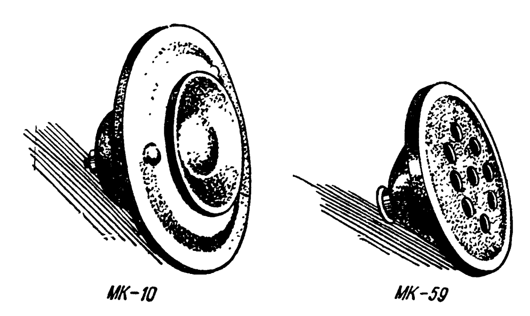


Рис. 28. Внешний вид угольных микрофонных капсюлей МК-10 и МК-59.

Капсюль МК-59 имеет более упрощенную конструкцию. Его корпус выполнен из пластмассы, неподвижный электрод (в виде чашечки) впрессован в дно корпуса, а подвижный (чашечка немного меньшего размера) крепится к очень тонкой конусообразной металлической диафрагме, имеющей ряд выдавленных по образующей ребер, которые придают диафрагме нужную жесткость. Между электродами (поверхность их покрыта палладием) засыпан угольный порошок, уровень которого ограничивается шайбой из тонкого и прочного шелка, приклеенной по внешнему краю внутри корпуса. Диафрагма прижимается по краю корпуса металлическим кольцом, поверх кладется кружок тонкой пленки из полистирола и все это закрывается металлической крышкой (с девятью отверстиями), завальцованной по краю корпуса. Для коррекции частотной характеристики в корпусе сделаны два отверстия, заклеенные тонким шелком. Диаметр этого капсюля 37 *мм,* высота 15 *мм,* вес 15 *г.*

Капсюли МК-10 и МК-59 могут работать при любом положении, так как их конструкция обеспечивает неразрывность микрофонной цепи вследствие того, что подвижный электрод всегда находится в порошке, сохраняя тем нужный контакт между электродами.

В этом их большое преимущество перед капсюлями старых типов (например, № 5 ЦБ и МБ) с хрупкой угольной мембраной, работающими нормально только в вертикальном положении. Покрытие металлических электродов палладием (веществом, нейтральным для угольного порошка) позволило избавиться от необходимости применения угольных электродов, что привело к значительному повышению прочности и улучшению других качеств угольных микрофонов.

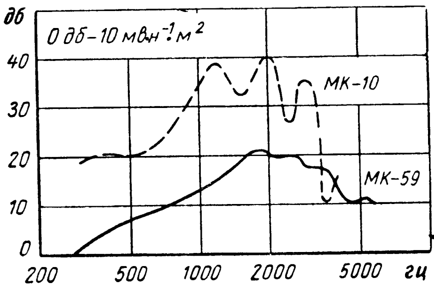


Рис. 29. Частотные характеристики угольных микрофонных капсюлей МК-10 и МК-59.

Действие угольного микрофона основано на свойстве угольного порошка изменять свое сопротивление в зависимости от силы сжатия зерен, составляющих порошок. Угольный капсюль, таким образом, является своеобразным переменным сопротивлением. Внутреннее сопротивление капсюля имеет динамический характер, т. е. отличается от статического состояния (тишина) и зависит от сорта угольного порошка, и для каждого типа не должно превышать определенной величины. По динамическому сопротивлению угольные микрофоны подразделяются на низкоомные (НО), среднеомные (СО) и высокоомные (ВО). Первые имеют динамическое сопротивление около 50 *ом* и работают при токе питания до 80 *ма*, вторые — динамическое сопротивление 70—150 *ом* и ток питания не более 50 *ма* и третьи — 150—300 *ом* и ток питания не более 25 *ма*.

Чувствительность угольных микрофонов особенно велика в области средних частот (от 1 до 3—4 *кгц*), что способствует достижению лучшей разборчивости (артикуляции) речи. Частотные характеристики капсюлей МК-10 и МК-59 показаны на рис. 29, из которого видно, что максимальная чувствительность капсюля МК-10 на частоте 2 *кгц* достигает 1 000 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$ при общей неравномерности в полосе частот 300—3 000 *гц* (номинальная полоса частот для телефонной связи) порядка 22—25 *дб*. Капсюль МК-59 на той же частоте имеет чувствительность 100—200 $мв \cdot н^{-1} \times$ $\times м^2$ при такой же неравномерности.

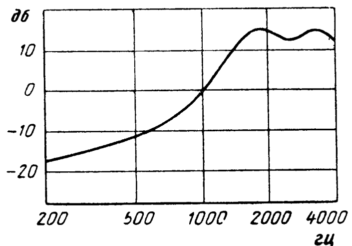


Рис. 30. Типовая частотная характеристика угольного микрофона для радиосвязи МРУ-60.

Кроме этих капсюлей, для радиосвязи выпускается угольный микрофон типа МРУ-60 в пластмассовом корпусе с ручкой. Частотная характеристика его приведена на рис. 30. Чувствительность микрофона МРУ-60 при активной нагрузке 100 *ом* составляет не менее 60 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$.

Для нормальной работы угольного микрофона он должен быть включен в цепь постоянного тока, который не должен превышать определенной для каждого капсюля величины, указанной выше. При большем токе спекается и портится угольный порошок, возникают нелинейные искажения, шорохи и трески. При очень малом токе резко снижается чувствительность. Поэтому в зависимости от номинального тока капсюля и сопротивления входной цепи необходимо подбирать соответствующее напряжение питания.

Угольный капсюль может эффективно работать и при пониженном токе питания, особенно если он применяется с ламповым или транзисторным усилителем [1]. Снижение чувствительности в этом случае может быть легко компенсировано повышением коэффициента усиления. При этом улучшается частотная характеристика, значительно снижается уровень собственных (внутренних) шумов, повышается стабильность и надежность работы микрофона.

НОВОЕ В МИКРОФОННОЙ ТЕХНИКЕ

Конденсаторный микрофон с высокочастотной схемой включения капсюля. Широкое распространение транзисторов вызвало как бы второе рождение высокочастотным схем включения капсюля конденсаторного микрофона, известных почти столько же, сколько конденсаторный микрофон, т. е. больше 40 лет. Принцип действия конденсаторного микрофона с такой схемой заключается в том, что изменения емкости капсюля, вызываемые действием на диафрагму звуковых волн, изменяют частоту настройки контура, в который включен капсюль, модулируя тем самым высокочастотные колебания вспомогательного генератора, входящего в схему. После детектирования выделяется и затем усиливается напряжение модулирующего, т. е. звукового сигнала.

Эти схемы, применявшиеся в первые годы появления конденсаторных микрофонов, в дальнейшем вышли из употребления вследствие ряда эксплуатационных неудобств таких как необходимость подстройки высокочастотной части схемы перед работой, громоздкость устройства и др. Новые же высокочастотные схемы включения с транзисторами, наоборот, повышают эксплуатационные качества конденсаторного микрофона, так как избавляют его от усилительно-питающего устройства, обязательно входящего в комплект микрофона, и не требуют сетевого напряжения.

В качестве примера на рис. 31 приведена схема, примененная в конденсаторном микрофоне МКН-104 фирмы «Sennheiser». Схема питается от шести малогабаритных аккумуляторов, помещаемых рядом с микрофоном, и потребляет ток всего 5 *ма*. Номинальный диапазон частот микрофона МКН-104 составляет 40—23 000 *гц* с неравномерностью частотной характеристики 6 *дб*, его чувствительность 20 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$, стандартный уровень чувствительности — 53 *дб*, нагрузка 800 *ом*. С аккумуляторами и штепсельными разъемами этот микрофон имеет следующие размеры: диаметр 22 и длина 210 *мм*.

Радиомикрофон. Это малогабаритное устройство, состоящее из микрофона (конденсаторного или динамического), усилителя и маломощного радиопередатчика, предназначено для односторонней радиосвязи на небольших расстояниях. Передатчик мощностью 30—

[1] Особенности работы угольного микрофона при пониженном токе описаны в книге И. Е. Финклера «Электроакустические характеристики телефонного тракта», Связьиздат, 1961.

150 *мквт* работает в диапазоне 57,5—58,5 *Мгц* (специальный диапазон для радиомикрофонов), обеспечивая дальность действия 50—500 *м*. Он содержит от трех до пяти транзисторов. Его размеры вместе с батареей не превышают карманного радиоприемника. В том случае, когда в радиомикрофоне используется конденсаторный микрофон, точнее, его капсюль, он включается непосредственно в контур задающего генератора и осуществляет частотную модуляцию генерируемого высокочастотного сигнала звуковым сигналом, воспринимаемым микрофоном.

Радиомикрофоны применяются для звукоусиления, репортажа, перевода речей, а также в условиях открытой площади, большой

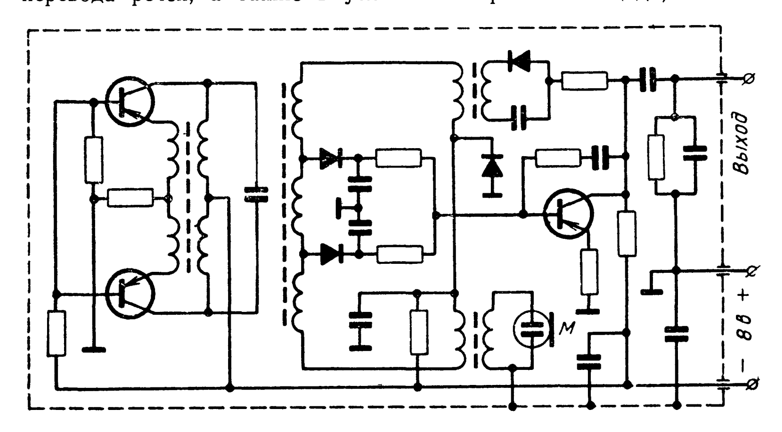


Рис. 31. Электрическая схема микрофона МКН-104.

сцены или лекционного зала, когда артист или диктор не может находиться достаточно близко от обычного микрофона. Применение радиомикрофонов представляет также большую ценность для передачи различных сообщений и команд в движении или с разных мест, когда невозможно или крайне затруднительно присоединить микрофон непосредственно к звукоусилительному или передающему тракту.

В отечественных радиомикрофонах используются динамические микрофоны МД-54Р и 82А-13.

Стереофонический микрофон. В стереофоническом радиовещании и стереофонической звукозаписи на грампластинку или магнитную ленту используется двухканальная система приема и передачи сигналов (в звуковом кино для этой цели применяют три и более каналов). При двухканальной системе вместо двух одинаковых пространственно разнесенных (на 0,5—6 *м*) микрофонов с круговой или кардиоидной характеристикой направленности часто используют специальные стереофонические микрофоны (стереомикрофоны).

Стереомикрофон представляет собой систему двух одинаковых однонаправленных микрофонов, помещенных вплотную один под другим в общем корпусе или на одном штативе, так что их акустические оси расположены под углом 90° одна к другой и проходят под углом 45° к акустической оси стереомикрофона, устанавливаемого обычно посредине сцены. Стереомикрофон можно составить из двухнаправленных микрофонов. Такой стереомикрофон более чувстви-

телен к «тыловым» звукам, может быть использован при малом шуме и в помещении с небольшой реверберацией (с плохо отражающими звук ограждающими поверхностями). Применяют также и стереомикрофоны, составленные из расположенных вплотную однонаправленного и двухнаправленного микрофонов равной чувствительности. Акустические оси этих микрофонов расположены под углом 90° одна к другой, но так, что ось однонаправленного микрофона совпадает с акустической осью стереомикрофона, а ось двухнаправленного перпендикулярна ей. Вместо однонаправленного микрофона в этом стереомикрофоне можно применить и ненаправленный микрофон. В этом случае стереомикрофон будет чувствительным к «тыловым» звукам.

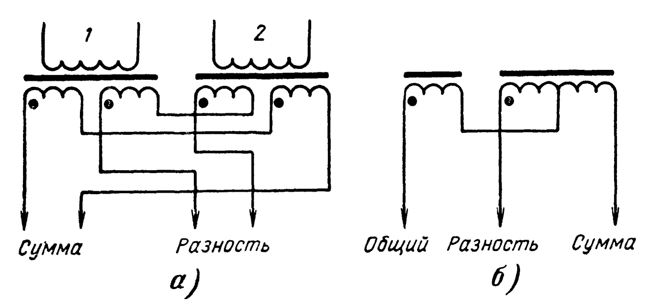


Рис. 32. Схема для получения суммы и разности сигналов двух микрофонов.

а — с двумя трансформаторами; *б* — с автотрансформатором. Начало каждой обмотки помечено жирной точкой.

Для обращения стереофонической передачи или записи в монофоническую сигналы от обоих микрофонов стереомикрофона предварительно складывают и вычитают. Наиболее просто это осуществляется при помощи двух одинаковых трансформаторов, каждый из которых имеет две одинаковые и симметрированные вторичные обмотки. К первичной обмотке каждого трансформатора подключается один из микрофонов, а вторичные обмотки соединяются попарно так (рис. 32,*а*), что в одном случае напряжения с одного и другого трансформатора складываются, а в другом вычитаются (обмотки соединены навстречу). Такой же результат может быть получен, если на одном трансформаторе сделать две вторичные обмотки или одну двойную обмотку со средней точкой, а на другом — одну вторичную, соединенную, как показано на рис. 32,*б*.

Транзисторный микрофон. Сравнительно недавно известная американская фирма «Bell Telephone Laboratories» разработала миниатюрный транзисторный микрофон, обладающий высокой чувствительностью и большим к. п. д. Такой микрофон состоит из плоскостного транзистора и диафрагмы, механически связанной сапфировой иглой с эмиттером транзистора. Звуковые волны, падающие на диафрагму, приводят ее в колебание, которое, передаваясь через иглу эмиттеру, создает переменные давления на него и изменяет сопротивление эмиттерного перехода в транзисторе, а следовательно, и тока через него. Таким путем звуковое давление преобразуется в электрическое напряжение на нагрузке транзистора.

Изменение сопротивления эмиттерного перехода аналогично действию сигнала в цепи эмиттер — база в транзисторном усилителе. Вследствие этого транзисторный микрофон, помимо преобразования звукового давления в электрическое напряжение, усиливает еще и величину последнего.

Транзисторные микрофоны потребляют ток в 20—100 раз меньший, чем угольные микрофоны, что обусловливает приблизительно в 100 раз более высокий их к. п. д. Чувствительность транзисторного микрофона в 4 раза выше угольного. Отношение сигнал/шум транзисторных микрофонов равно 54 *дб*. Нелинейные искажения меньше 3% на частоте 1 000 *гц* при звуковом давлении 0,3 $н/м^2$.

Частотная характеристика и чувствительность транзисторного микрофона определяются размерами диафрагмы и конструкцией ее соединения с транзистором. Существуют несколько способов передачи давления от диафрагмы плоскостному транзистору. Эмиттер транзистора может быть присоединен к диафрагме непосредственно (без сапфировой иглы) или же диафрагмой может служить тонкая упругая полупроводниковая пластинка, на которой методом диффузии или осаждения создан эмиттерный переход (такие микрофоны более надежны и технология их изготовления более проста).

Транзисторные микрофоны, имеющие размеры маленькой кнопки, могут применяться в телефонной и акустической аппаратуре, в медицинских приборах, в частности в слуховых аппаратах.

В заключение приводятся оформленные в виде таблицы основные параметры и некоторые конструктивные данные большинства типов микрофонов отечественного производства. Многие из них уже ряд лет выпускаются нашей промышленностью и нашли широкое применение, некоторые являются новыми разработками, часть типов начинает выходить из употребления.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Основные электрические и конструктивные данные микрофонов отечественного производства (продолжение)

МЛ-15	50—10 000	5	250	—76	0,8	—	Л	ДН	54×70×220	1 350[2]
МЛ-16	50—15 000	10	250	—78	0,63	—	Л	ДН	⌀ 54×225	1 500
МЛ-17	70—10 000	12	250	—76	0,8	12	Л	ОН	⌀ 55×293	1 700
19А-3	40—12 000	5	160	—55	7	20	К	ОН	⌀ 42×220	360
19А-4	50—12 000	10	250	—58	6	10—20	К	НН, ОН	⌀ 31×135	120[2]
19А-9	40—15 000	10	250	—66	2,5	10	К	ОН	40×50×200	200[2]
19А-10[1]	40—15 000	7	250	—66	2,5	15	К	8 видов	⌀ 42×140	230
19А-13	30—15 000	6	250	—52	15	8—18	К	ОН	32×50×116	170
19А-14	40—15 000	9	250	—64	3,5	—	К	ОН	43×80×133	200
82А-5М	50—10 000	10	250	—69	1,75	9—18	Д	ОН	⌀ 44×130	175[2]
82А-9[3]	100—8 000	12	300	—74	1	15	Д	ОН	⌀ 28×115	130[2]
82А-11[4]	100—8 000	18	250	—78	—	—	Д	ОН	—	—
МДО-1[4]	150—8 000	15	250	—78	0,63	15	Д	ОН	⌀ 35×145	1 200

Микрофоны специального назначения

МК-5А	20—20 000	4	250	—73	1,1	—	К	НН	⌀ 20×110	75[2]
МК-6	20—40 000	5	250	—74	—	—	К	НН	—	—
МИК-6С	20—15 000	5	600	—64	5	—	К	НН	—	—
ЗА-4	100—4 000	4	600	—74	1,5	—	К	НН	—	—
МД-38Ш	40—10 000	8	120	—74	—	—	Д	НН	—	—
МД-51[4]	80—5 000	12	120	—78	—	—	Д	ОН	—	—
МД-37Б[6]	60—8 000	23	200	—78	—	—	Д	НН	—	—
МД-50[6]	300—5 000	12	600	—78	—	—	Д	ОН	—	—
МД-59М[5]	40—6 000	20	250	—78	—	—	Д	НН	—	—
МЛ-16М[6]	30—5 000	15	600	—80	—	—	Л	ДН	—	—

Условные обозначения: Д — динамический катушечный; Л — ленточный; К — конденсаторный; НН — ненаправленная (круговая); ОН — однонаправленная (кардиоидная); ДН — двухнаправленная (восьмерка).

[1] Комбинированный микрофон с переключаемыми характеристиками направленности (параметры даны только для кардиоиды).

[2] Вес без кабеля и подставки, а для конденсаторных микрофонов вес капсюля с входным каскадом без питающего устройства.

[3] От комплекта КМД-3 (разность «фронт — тыл» в полосе 300 — 3 000 *гц*).

[4] Односторонняя остронаправленная характеристика.

[5] Для медицинских целей.

[6] Пылевлагозащищенный для диспетчерской связи.

Цена 10 коп.